

Stanisław Janusz CIEŚLAKOWSKI

WYZNACZANIE GEOMETRYCZNYCH PARAMETRÓW SYSTEMÓW ROZRZĄDZANIA GRAWITACYJNEGO

Streszczenie. W pracy opracowano algorytmy wyznaczania bezpiecznej lokalizacji wyrzutni płoźów hamulca odstępowego, hamulca docelowego oraz pierwszego i drugiego rozjazdu systemów rozrządzenia grawitacyjnego.

DETERMINATION OF GEOMETRIC PARAMETERS OF GRAVITATIONAL MARSHALLING SYSTEMS

Summary. In the paper, algorithms were developed to determine safe location of braking skid launchers, of distance brake, destination brake, first and second turn-out of gravitational marshalling systems.

1. WSTĘP

W węzłach kolejowych na przecięciu zasadniczych ciągów tranzytowych oraz w pobliżu ośrodków przemysłowych o znacznej pracy ładunkowej zachodzi potrzeba wykonywania znacznej pracy manewrowej. Wagony przybywające do tych miejsc trzeba podzielić według kierunków odjazdu oraz stacji docelowych przewozu, a następnie zestawić je w pociągi. Czynności te wykonuje się na stacjach rozrządowych, manewrowych i zakładowych. Podstawowy zakres pracy manewrowej na tych stacjach stanowi rozrządzanie i zestawianie składów pociągów towarowych.

Duże stacje rozrządowe, manewrowe i zakładowe są wyposażone w systemy rozrządzenia grawitacyjnego, umożliwiające najbardziej wydajne rozrządzanie wagonów.

Każdy wagon towarowy w czasie swojego tylko jednego obrotu jest przynajmniej 3 razy rozrządzany z wykorzystaniem systemów rozrządzenia grawitacyjnego:

- po załadunku na stacji rozrządowej rejonu załadunku,
- przed wyładunkiem na stacji rozrządowej rejonu wyładunku,
- jako wagon próżny po wyładunku na stacji rozrządowej rejonu wyładunku.

Największe zagrożenie bezpieczeństwa wagonów na stacji występuje podczas ich rozrządzania w systemach rozrządzenia grawitacyjnego, m.in. na rozjazdach kolejowych, wyrzutni płoźów, hamulcach odstępowych i docelowych.

2. AKTUALNY STAN WIEDZY O ZAGADNIENIU

Na temat bezpiecznej lokalizacji wyrzutni płożów i drugiego wjazdu oraz hamulca docelowego występuje brak informacji w dostępnej literaturze. W pracach [1,4,5] przyjmuje się bez dowodu, że pierwszy rozjazd kolejowy w systemach rozrządzenia grawitacyjnego powinien być zlokalizowany 25-30 m od pierwszego załomu góry.

W pracy [3] obliczono, że pierwszy rozjazd nie powinien być zlokalizowany bliżej niż 18,64 m od wierzchołka góry. W obliczeniach arbitralnie przyjęto różnicę między czasem przejazdu wagonów ciężkobieźnego i lekkobieźnego od wierzchołka góry do początku iglic pierwszego rozjazdu $\Delta t = 1$. Obliczenia przeprowadzono według algorytmu, który nie został uzasadniony. W obliczeniach przyjęto prędkość napychania wagonów 2 m/s, która nie jest stosowana na PKP. Również przyjęty opór wagonu ciężkobieźnego 6,9 N/kN nie występuje obecnie na PKP. Pokrewnym zagadnieniem, dotyczącym minimalnych prędkości staczenia się wagonów przez pierwszy rozjazd grawitacyjnych systemów rozrządowych, zajmowano się w pracy [6]. Nie badano jednak bezpiecznej lokalizacji rozjazdu.

W pracach [1, 4, 5] przyjmuje się, że hamulec odstępowy, przy jednej pozycji hamowania odstępowego, powinien leżeć w odległości 120-175 m od grzbietu góry, czyli 115-170 m od pierwszego załomu góry rozrządowej. Autorzy powołują się na wyniki badań symulacyjnych. Przyjęty w obliczeniach opór wagonu ciężkobieźnego 4,7 N/kN nie występuje obecnie na PKP.

W pracy [3] minimalną odległość początku hamulca torowego od wierzchołka góry rozrządowej określono na 109,6 m, czyli 104,6 m od pierwszego załomu góry rozrządowej. Przyjęty w obliczeniach opór wagonu ciężkobieźnego 6,9 N/kN nie występuje obecnie na PKP. W obliczeniach arbitralnie przyjęto różnicę między czasem przejazdu wagonów ciężkobieźnego i lekkobieźnego od wierzchołka góry do początku hamulca $\Delta t = 2s$. Czas reakcji hamulca $1s$ przyjęty w obliczeniach nie występuje w nowych systemach automatyzacji. Zagadnieniem dotyczącym budowy i działania hamulców torowych zajmowano się w pracy [6]. Nie badano jednak bezpiecznej lokalizacji hamulca odstępowego.

3. SFORMUŁOWANIE PROBLEMU

Obecnie nie ma metod umożliwiających bezpieczne dla wagonów lokalizacje takich obiektów, jak: wyrzutnia płożów, pierwszy i drugi zjazd, hamulec odstępowy i docelowy.

Należy więc opracować funkcje F przekształcające konfigurację systemu rozrządzenia grawitacyjnego K , technologię rozrządzenia TE oraz wybrane parametry wagonów P na bezpieczną odległość L początku tych obiektów kolejowego od pierwszego załomu góry rozrządowej:

$$F: (K, TE, P) \rightarrow L \quad (1)$$

4. METODA BADAŃ I WYNIKI

Wartość energii kinetycznej traconej przez hamowanie płożami reguluje się dobieraniem w każdym przypadku odpowiedniej długości drogi ślizgania się płożu po szynie pod kołem odpręgu wagonowego. W tym celu płoż kładzie się w określonej odległości przed wyrzutnią płożów na pozycji hamowania odstępowego.

Lokalizację wyrzutni płożów można w tym przypadku wyznaczyć według następującego zaproponowanego przez autora algorytmu.

a) Wyznaczamy punkt K w odległości l od pierwszego załomu górkii rozrządowej, w którym prędkość wagonu lekkobieźnego osiągnie dopuszczalną prędkość wjazdu wagonu na płoż $V_K = 7$ m/s.

Z następującej zależności [1]:

$$V_k^2 = V_o^2 + 2g'_L \cdot l(i - w_{oL} - w_{pL}) \quad (2)$$

Stąd

$$l = \frac{V_k^2 - V_o^2}{2g'_L(i - w_{oL} - w_{pL})} \quad [\text{m}] \quad (3)$$

gdzie:

- l – odległość wyrzutni płożów od pierwszego załomu górkii rozrządowej [m],
 - V_o – prędkość spychania wagonów [m/s],
 - i – pochylenie rozpędowe górkii [-],
 - w_{oL} – jednostkowy opór wagonu lekkobieźnego [-],
 - w_{pL} – jednostkowy opór od powietrza wagonu lekkobieźnego [-],
 - g'_L – zmodyfikowane przyspieszenie ziemskie wagonu lekkobieźnego [m/s²].
- b) Należy wyznaczyć punkt P leżący w odległości X od punktu K w kierunku wierzchołka górkii rozrządowej, w którym należy wyłożyć płoż hamulcowy. W tym celu symulujemy staczanie wagonu ciężkobieźnego niehamowanego i obliczamy jego prędkość na początku torów kierunkowych V_c .
- c) Na tej podstawie można doliczyć, z jaką prędkością V_{wy} musi wyjechać wagon lekkobieźny z wyrzutni płożów, aby na początku torów kierunkowy osiągnął również prędkość V_c .
- d) Obliczymy teraz prędkość wagonu w punkcie P równą V_p .

$$V_p^2 = V_o^2 + 2g'_L(1-x)(i - w_{oL} - w_{pL}) \quad (4)$$

e) Można obecnie wyznaczyć drogę hamowania wagonu X z zależności [1]:

$$X = \frac{V_{wy}^2 - V_p^2}{2g'_L(\mu/n - i + w_{oL} + w_{op})} \quad [\text{m}] \quad (5)$$

Ostatecznie płoż powinien być wyłożony przed wyrzutnią płożów w odległości X równa:

$$X = \frac{V_{wy}^2 - V_o^2 - 2g'_L \cdot l(i - w_{oL} - w_{pL})}{2g'_L[\mu/n - 2(i - w_{oL} - w_{pL})]} \quad [\text{m}] \quad (6)$$

Prędkość wagonu V_L na początku izolowanego odcinka przedglicowego oddalonego o wartość L od pierwszego załomu górkii możemy obliczyć za pomocą wzoru [1]:

$$V_L = \sqrt{V_o^2 + 2g'_L(i - w_p - w_o)L} \quad [\text{m/s}] \quad (7)$$

gdzie:

- V_o – prędkość napychania wagonów [m/s],
 - g' – zmodyfikowane przyspieszenie ziemskie [m/s²],
 - i – średnie pochylenie,
 - w_p – opór jednostkowy wagonu od powietrza,
 - w_o – jednostkowy opór tocny wagonu.
- Ponieważ w_p jest 700 razy mniejsze od i , a w_o jest 16 razy mniejsze od i , w dalszych obliczeniach wartości te mogą być pominięte. Nieuwzględnienie tych parametrów może być przyczyną błędu rzędu do 3%.

Wzór (7) przyjmuje więc postać:

$$V_L = \sqrt{V_o^2 + 2g' \cdot i \cdot L} \quad [\text{m/s}] \quad (8)$$

Czas przejazdu t_L wagonu drogi L do początku odcinka przedglicowego można obliczyć ze wzoru:

$$t_L = \frac{2L}{V_o + \sqrt{V_o^2 + 2g' \cdot i \cdot L}} \quad [\text{s}] \quad (9)$$

Czas jazdy wagonu $t_{L+19,8}$ od pierwszego załomu górkę do momentu zjazdu z odcinka izolowanego wynosi:

$$t_{L+19,8} = \frac{2(L+19,8)}{V_o + \sqrt{V_o^2 + 2g' \cdot i \cdot (L+19,8)}} \quad [\text{s}] \quad (10)$$

Wagony bezpiecznie będą przejeżdżać przez pierwszy rozjazd, gdy spełniony zostanie warunek [2]:

$$t_{rz} > t_{tch} \quad (11)$$

gdzie:

t_{rz} – rzeczywisty czas między zjazdem z odcinka izolowanego wagonu poprzedniego a wjazdem na odcinek przedglicowy wagonu następnego [s],

t_{tch} – czas technologiczny potrzebny do przestawienia rozjazdu [s].

Czasy te można obliczyć z następujących wzorów:

$$t_{rz} = T_o + t_L - t_{L+19,8} \quad [\text{s}] \quad (12)$$

$$t_{tch} = t_s + t_r + t_p \quad [\text{s}] \quad (13)$$

gdzie:

T_o – czas od momentu rozpoczęcia staczania wagonu poprzedniego do momentu rozpoczęcia się staczania wagonu następnego [s],

t_s – czas sterowania (1,1s),

t_p – czas przestawiania rozjazdu (0,8 s),

t_r – czas przetwarzania informacji przez człowieka w sytuacji wyboru (czas reakcji) [s].

$$t_r = 0,179 + 0,079 \log_2 n \quad [\text{s}] \quad (14)$$

gdzie:

n – liczba możliwych sytuacji (32).

Czas jazdy wagonu $t_{L+13,8}$ od pierwszego załomu górkę do momentu zjazdu z hamulca odstępowego wynosi:

$$t_{L+13,8} = \frac{2(L+13,8)}{V_o + \sqrt{V_o^2 + 2g' \cdot i \cdot (L+13,8)}} \quad [\text{s}] \quad (15)$$

Wagony bezpiecznie będą przejeżdżać przez hamulec odstępowy, gdy spełniony zostanie warunek [2]:

$$t_{rz} > t_{tch} \quad (16)$$

gdzie:

t_{rz} – rzeczywisty czas między zjazdem z hamulca odstępowego wagonu poprzedniego a wjazdem na hamulec odstępowy wagonu następnego [s],

t_{tch} – czas technologiczny potrzebny do nastawienia hamulca [s].

Czasy te można obliczyć z następujących wzorów:

$$t_{rz} = T_o + t_L - t_{L+13,8} \quad [\text{s}] \quad (17)$$

$$t_{tch} = t_s + t_r + t_p \quad [\text{s}] \quad (18)$$

gdzie:

T_o – czas od momentu rozpoczęcia staczania wagonu poprzedniego do momentu rozpoczęcia się staczania wagonu następnego [s],

t_s – czas sterowania (1,1s),

t_p – czas podnoszenia hamulca (0,83 s).

W pracy postanowiono wyrazić odległość hamulca docelowego od pierwszego załomu górkę rozrządowej w funkcji odległości od pierwszego załomu górkę rozrządowej hamulca odstępowego oraz współczynnika Koeniga i sumy kątów środkowych toru kierunkowego. Według algorytmu podanego m.in. w pracy [6] wyznaczono dla poszczególnych torów kierunkowych współczynniki Koeniga, wykorzystując symulację staczania wagonów lekkobieźnego i ciężkobieźnego. Operację tę powtórzono dla różnych lokalizacji hamulców docelowych. Następnie wyznaczono szukaną funkcję.

5. DYSKUSJA

Przedstawiając za pomocą wzoru Maclaurina wyrażenie z pierwiastkiem w mianowniku w zależnościach (9), (10) i (15) oraz wstawiając je do nierówności (11), otrzymamy:

$$\frac{0,37L^2 - 5,5L + 2,09}{0,12L^2 + 1,36L - 4} > 0 \quad (\text{dla wyjazdu pierwszego}) \quad (19)$$

$$\frac{(x + 22)(x - 137,88)}{0,2(x + 14,5)(x - 71)} < 0 \quad (\text{dla wyjazdu drugiego}) \quad (20)$$

$$\frac{0,07(L - 72,42)(L - 189,3)}{0,02(L - 100,94)(L - 88,63)} > 0 \quad (\text{dla hamulca odstępowego}) \quad (21)$$

Dla pierwszego i drugiego rozjazdu należy przy wyborze wyniku uwzględnić następujące przesłanki:

a) $L > 0$,

b) rozjazd powinien być oddalony od początku łuku pionowego o minimum 6 m.

Dla hamulca odstępowego należy przy wyborze wyniku uwzględnić następujące przesłanki:

a) hamulec powinien być zlokalizowany za rozjazdem objazdowym górkę rozrządowej,

b) hamulec powinien być zlokalizowany przed rozjazdami torów kierunkowych.

Z badań wynika, że odległość hamulca docelowego od pierwszego załomu górkę rozrządowej jest wprost proporcjonalna do tej odległości dla hamulca odstępowego i do sumy kątów środkowych oraz odwrotnie proporcjonalna do współczynnika Koeniga.

6. WNIOSKI

Z wykonanej pracy wynikają następujące wnioski:

- ponieważ opór jednostkowy wagonu oraz jego opór od powietrza są znacznie mniejsze od pochylenia toru, więc zależność (6) możemy napisać w postaci:

$$X = \frac{V_{wy}^2 - V_o^2 - 2g'_L \cdot L \cdot i}{2g'_L (\mu/n - 2 \cdot i)} \quad [\text{m}] \quad (22)$$

- początek pierwszego rozjazdu kolejowego powinien być zlokalizowany w odległości powyżej 34,54 m od pierwszego załomu górkę,
- początek drugiego rozjazdu kolejowego może być zlokalizowany między 76,6 m a 143,5 m od pierwszego załomu górkę,

- 4) początek hamulca docelowego może być najbliżej zlokalizowany w odległości 120 m od pierwszego załomu górki,
- 5) odległość początku hamulca docelowego od pierwszego załomu górki rozrządowej można obliczyć z zależności:

$$L = L_{HO} + 10 \cdot \varphi - 250 \cdot k + 675 \text{ [m]} \quad (23)$$

gdzie:

L_{HO} – odległość hamulca odstepowego od pierwszego załomu górki [m],

φ – suma kątów środkowych [°],

k – współczynnik Koeniga [-].

Literatura

1. Cieślakowski S.J.: Stacje kolejowe. WKŁ, Warszawa 1992.
2. Cieślakowski S.J.: 2004, Kształtowanie bezpieczeństwa wagonów kolejowych w systemach rozrządzenia grawitacyjnego. Praca naukowo-badawcza 2005/47/P. Politechnika Radomska, Radom 2004.
3. Kozak T.: Racjonalne układy torów w rejonie górki rozrządowej ze szczególnym uwzględnieniem 32 i 48 torów kierunkowych. COBiRTK, Warszawa 1967.
4. Sutarzewicz D.: Warunki, jakim powinny odpowiadać w planie i profilu układy torów górek rozrządowych przystosowanych do mechanizacji i automatyzacji. Automatyka Kolejowa, 6, Warszawa 1983.
5. Sutarzewicz D.: Układy torów stacji rozrządowych. Drogi Kolejowe, 12, Warszawa 1984.
6. Węgierski J.: Układy torowe stacji. WKŁ, Warszawa 1974.